تأثیر میکروسیلیس و نانوسیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک الیافی*

(یادداشت پژوهشی)

سید حسین قاسم‌زاده موسوی نژاد[۱]		یاسر قربانی شمشاد سرا[۲]

چکیده *بتن سبک به‌واسطه ویژگی‌های خاص خود ازجمله سبک‌سازی سازه‌ها حائز اهمیت می‌باشد. این مقاله تأثیر میکروسیلیس و نانوسیلیس را روی خواص مکانیکی بتن الیافی حاوی سبکدانه اسکوریا مورد ارزیابی قرار می‌دهد. میکروسلیس و نانوسیلیس در مقادیر مختلف جایگزین وزنی سیمان شده است. مقدار مصرف الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن با نسبت‌های حجمی و طول به قطر مختلف، متفاوت می‌باشد. در این مطالعه هفده طرح مختلف تحت آزمایش‌های مقاومت مکانیکی و جذب آب و وزن مخصوص قرار گرفتند که نتایج به‌دست‌آمده درصد جایگزینی بهینه میکروسیلیس و نانوسیلیس را به ترتیب ۱۰ و ۳ درصد و تأثیر الیاف فولادی را بهتر از الیاف پلی‌پروپیلن بر خواص مکانیکی بتن سبک نشان می‌دهد.*

واژه های کلیدی سبکدانه اسکوریا، میکروسیلیس، نانوسیلیس، الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن، خواص مکانیکی.

Effect of Silica Fume and Nano Silica on Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Lightweight Concrete

S. H. Ghasemzadeh Mousavinejad		Y. Ghorbani Shemshad sara

Abstract *Lightweight concrete has significant importance due to its special features including weight reduction of structures.This article aims to study the effect of silica fume (SF) and nano silica (Na) on mechanical properties of fiber reinforced concrete containing lightweight scoria aggregates. SF and Na are replaced by different amounts of cement weight. The used amounts of Steel and polypropylene fibers having different length to diameter ratios are different. For this study, seventeen different lightweight mixtures were made and tested for mechanical strengths, water absorption and density. Results show that optimized replacement amount of SF and Na is 10% and 3%, respectively. Steel fiber in comparison to Polypropylene fiber had better effect on mechanical characteristics of lightweight concrete.*

Key Words Lightweight Scoria, Silica Fume, Nano Silica, Steel and Polypropylene Fibers, Mechanical Properties.

* تاریخ دریافت مقاله ۹٤/۱۱/۱۰ و تاریخ پذیرش آن ۹٦/۱۲/۱۵ می‌باشد.

(۱) نویسندهٔ مسئول، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ فنی، دانشگاه گیلان.		Email : hossghas@yahoo.com

(۲) کارشناسی ارشد مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی دیلمان لاهیجان.

مقدمه

بررسی زلزله‌های اخیر ایران نشان می‌دهد که اکثر خرابی‌های سازه‌ای به خاطر شکل‌گیری نیروی اینرسی بزرگ در سازه‌ها وعدم تحمل آن‌ها در برابر این نیرو بوده است [۱]. بتن سبک به‌واسطه ویژگی‌های خاص برای کاربردهای مختلف ازجمله سازه‌های بلندمرتبه، پل‌های چنددهانه‌ای بزرگ و نیز سازه‌های نظامی مدفون (به‌عنوان جاذب و مستهلک کننده انرژی) مدنظر قرار می‌گیرد [2].

روش‌های مختلفی برای تولید بتن سبک شامل حذف بخش ریزدانه از کل سنگدانه‌های موجود در بتن و راه دیگر تولید آن ایجاد حباب‌های هوا از طریق افزودنی‌های شیمیایی مواد کف زا است. متداول‌ترین روش برای ساخت بتن سبک استفاده از سنگدانه‌های سبک در بتن است [3,4].

اسکوریا، نوعی سنگ آذرین با ساختار متخلخل، ظاهری گوشه‌دار است که حاصل فرایند فوران آتشفشان‌ها و سرد شدن سریع در هوا و عموماً به رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای موجودند [5].

بتن سبک سازه‌ای طبق آیین‌نامه ACI 318-14 به‌طورکلی به بتنی اطلاق می‌شود که چگالی خشک آن کمتر از ۱۸٤۰ kg/m^3 بوده و مقاومت فشاری استوانه‌ای ۲۸ روزه آن بیشتر از ۱۷/۲MPa باشد. وزن مخصوص بتن سبک طبق آیین‌نامه DIN 1045-1 و BS EN 206:2013 شامل اغلب کشورهای اتحادیه اروپا در محدوده ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ kg/m^3 محدودشده است[6].

تولید سیمان منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی محیطزیست و غیره می‌شود. یکی از راه حل های این مشکلات استفاده از مواد پوزولانی در بتن است. پوزولان‌ها خواص مکانیکی و شیمیایی خمیر سیمان را بهبود می‌دهند [7].

میکروسیلیس ماده‌ای بسیار ریز و آمورف که باعث بهبود پایایی و مقاومت بتن می‌گردد. Shannag نشان داد که با افزایش مقدار میکروسیلیس به ۱۵ درصد مقاومت بتن افزایش می‌یابد [8].

نانو سیلیس به‌عنوان موادی در ابعاد نانومتری می‌تواند با بلورهای هیدروکسید کلسیم $(Ca(OH)_2)$ واکنش دهد و ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) تولید کند و مقاومت سنین اولیه خمیر سخت شده سیمان و بتن را افزایش می‌دهد [۹].

Qing و همکاران [10] با بررسی و مقایسه افزایش مقاومت نانوسیلیس با دوده سیلیس مشاهده کردند که فعالیت پوزولانی نانوسیلیس در سنین پایین بسیار بیشتر از دوده سیلیسی است. تحقیق Li [11] نشان داد که مقدار کمی نانو ذرات سیلیس مقاومت های فشاری، خمشی و سایشی را افزایش می‌دهد. Ji و همکاران[12] دریافتند که کمترین میزان تراوش در نمونه‌ای که بیش‌ترین میزان نانو سیلیس را دارا بود، رخ‌داده است. Gesog˘lu و همکاران[13] دریافتند که استفاده توأم از میکروسیلیس (MS) و الیاف فولادی (S) سبب افزایش مقاومت فشاری بتن می‌گردد. Kılıc و همکارانش[14] نشان دادند که میکروسیلیس با جایگزینی ۱۰٪ وزن سیمان عملکرد بهتری نسبت به خاکستر بادی دارد.

با کاهش وزن بتن، خواص مکانیکی آن در مقایسه با بتن معمولی کاهش می‌یابد. در سال‌های اخیر پژوهش‌های فراوانی در ارتباط با تاثیر الیاف بربهبود مشخصات مکانیکی بتن ازجمله توسط Yazıcı و همکارانش [15] صورت گرفته که نکته مشترک آن‌ها تأیید تأثیر مثبت الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن سبک می‌باشد. همچنین ماهوتیان و همکارانش [١٦] تأثیر الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن را بر روی بتن مطالعه کردند که نتایج نشانگر تأثیر نسبتاً کم الیاف پلی‌پروپیلن در مقایسه با الیاف فولادی در بهبود مقاومت فشاری است.

برنامه آزمایشگاهی

مصالح مورداستفاده

سیمان مورداستفاده از پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان هگمتان و دارای توده ویژه ۳۱۵۰ kg/m^3 و سطح مخصوص ۲۹۰۰ cm^2/gr می‌باشد. همچنین، دوده

سیلیس (ازنا) به‌عنوان ماده پوزولانی در همه طرح‌ها استفاده شده است. توده ویژه MS ۲۱۲۰kg/m³ و مشخصات شیمیایی آن و سیمان در جدول (۱) آمده است. مشخصات نانوسیلیس(Nanocebin30) در جدول (۲) آورده شده است. حداکثر قطر ذرات ماسه رودخانه‌ای ۴/۷۵ میلی‌متر و وزن مخصوص ظاهری SSD، ۲۵۲۰ kg/m³ و جذب آب آن ۳٪ است. از فوق روان کننده P10-3R با مشخصات جدول (۳) استفاده شد. مشخصات الیاف های فولادی و پلی‌پروپیلن در جدول (٤)، دانه‌بندی ماسه و اسکوریای مصرفی به ترتیب در شکل (۱) و (۲) و دیگر مشخصات آن‌ها در جدول (٥) آمده است.

جدول ۱ آنالیز شیمیایی سیمان و دوده سیلیس

	SIO_2	CaO	AL_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3
سیمان	۲۱/٥٤	٦۳/۲٤	٤/۹٥	۳/۸۲	۱/٥٥	۲/٤۳
میکروسیلیس	۹٥/۱	۰/٤۹	۱/۳۲	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۱

جدول ۲ مشخصات نانوسیلیس

Parameter	Sales Specifications	Test method
Density(g/cm³)	1.203-1.215	AP-005D
S_iO_2(weight%)	29.6-31	AP-054
PH(at20⁰C)	9.6-10.2	AP-009
Specific Surface Area	200-240	AP-011

جدول ۳ مشخصات فوق روان کننده

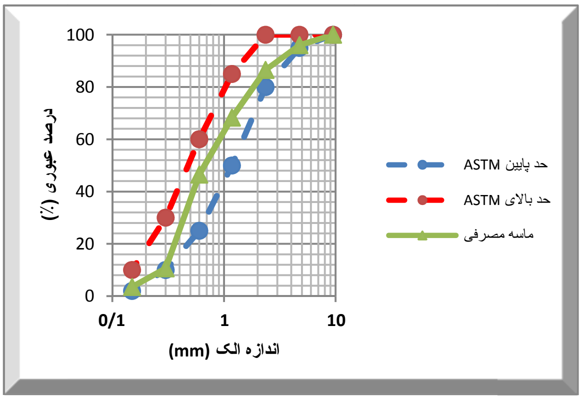
نام	P10-3R
نوع	پلی کربوکسیلیک اتر اصلاح‌شده
ظاهر	سبز تیره
چگالی (kg/m3)	1.1± 0.02
PH	7±1
حالت فیزیکی	مایع
طبیعت یونی	آنیونی

جدول ٤ مشخصات الیاف

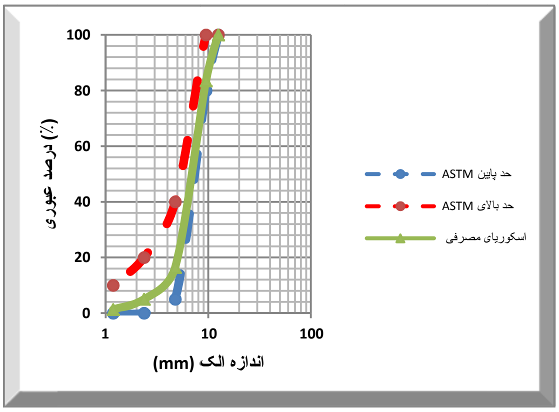
نام	الیاف فولادی	الیاف پلی‌پروپیلن
شکل	قلاب‌دار	صاف
طول (mm)	50	12
قطر(µm)	800	200
چگالی (g/cm³)	7.85	0.9

جدول ۵ مشخصات فیزیکی سنگدانه

سنگدانه	جذب آب (٪)		وزن مخصوص (Kg/m^3)	
	۳۰دقیقه	۲٤ساعته	خشک	اشباع با سطح خشک (SSD)
ماسه	۳		۲۳۸۰	۲۵۲۰
اسکوریا (۹/۵ mm)	۱۰/۱۵	۱۵/۳	۱۵٤۲	۱٦۵۰



شکل ۱ دانه‌بندی ماسه



شکل ۲ دانه‌بندی اسکوریا

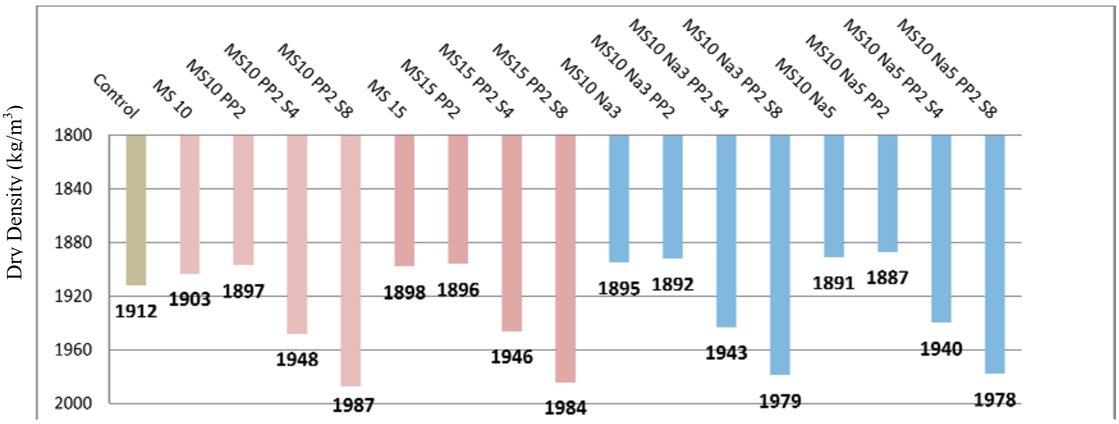
طرح‌های اختلاط و آماده‌سازی نمونه‌ها

نسبت آب به مواد سیمانی در همه طرح‌ها ثابت و برابر ۰/۳ و مواد سیمانی جایگزین با MS ۱۰ و ۱۵ درصد است. طول الیاف فولادی قلاب‌دار ۵۰ میلی‌متر و پلی‌پروپیلن ۱۲ میلی‌متر می‌باشد. ترتیب ساخت اختلاط مصالح به این‌گونه بود که ابتدا قسمتی از آب اختلاط به سبکدانه‌های خشک جهت پیش مرطوبی که ۳۰ دقیقه به طول انجامید افزوده شد. پس از آن با افزودن ماسه و مخلوط کردن با سبکدانه، مواد سیمانی به مخلوط اضافه شد و نهایتاً، آب به همراه فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردید. پس از ساخت بتن و پر کردن قالب‌ها، نمونه‌ها در دمای ^0C ۲۵ -۲۰ در محیط آزمایشگاه به مدت ۲٤ ساعت نگهداری شده به‌طوری‌که نمونه‌ها تا زمان آزمایش تحت عمل‌آوری مرطوب در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند. طرح‌های اختلاط در جدول (٦) آمده است.

جدول ٦ طرح‌های اختلاط

کد طرح	سیمان	میکروسیلیس	نانوسیلیس	آب	ماسه	اسکوریا	روان کننده	الیاف پلی‌پروپیلن	الیاف فولادی
	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
Control	٥٠٠	٠	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۷۶	۲/۵	٠	٠
MS 10	٤٥٠	٥٠	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۶۱	۴	٠	٠
MS10 PP2	٤٥٠	٥٠	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۵۷	۴	۱/۸	٠
MS10 PP2 S4	٤٥٠	٥٠	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۴۹	۵	۱/۸	۳۱/۴
MS10 PP2 S8	٤٥٠	٥٠	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۴۱	۶	۱/۸	۶۲/۸
MS 15	٤٢٥	٧٥	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۵۳	۵	٠	٠
MS15 PP2	٤٢٥	٧٥	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۵۰	۵	۱/۸	٠
MS15 PP2 S4	٤٢٥	٧٥	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۴۱	۶	۱/۸	۳۱/۴
MS15 PP2 S8	٤٢٥	٧٥	٠	١٥٠	٧٠٥	۶۳۳	۷	۱/۸	۶۲/۸
MS10 Na3	٤٣٥	٥٠	١٥	١٥٠	٧٠٥	۶۴۶	۵	٠	٠
MS10 Na3 PP2	٤٣٥	٥٠	١٥	١٥٠	٧٠٥	۶۴۳	۵	۱/۸	٠
MS10 Na3 PP2 S4	٤٣٥	٥٠	١٥	١٥٠	٧٠٥	۶۳۵	۶	۱/۸	۳۱/۴
MS10 Na3 PP2 S8	٤٣٥	٥٠	١٥	١٥٠	٧٠٥	۶۲۷	۷	۱/۸	۶۲/۸
MS10 Na5	٤٢٥	٥٠	٢٥	١٥٠	٧٠٥	۶۳۸	۵	٠	٠
MS10 Na5 PP2	٤٢٥	٥٠	٢٥	١٥٠	٧٠٥	۶۳۵	۵	۱/۸	٠
MS10 Na5 PP2 S4	٤٢٥	٥٠	٢٥	١٥٠	٧٠٥	۶۲۷	۶	۱/۸	۳۱/۴
MS10 Na5 PP2 S8	٤٢٥	٥٠	٢٥	١٥٠	٧٠٥	۶۱۸	۷	۱/۸	۶۲/۸

MS: Silica Fume Na: Nano Silica S: Steel Fiber PP: Polypropylene



شکل ۳ نمودار چگالی خشک نمونه‌ها

نتایج آزمون‌های بتن سخت شده

چگالی

نمودار نشان می‌دهد که حضور الیاف فولادی باعث افزایش وزن مخصوص بتن گردید. تمامی طرح‌ها در محدوده مجاز وزنی (زیر ۲۰۰۰ kg/m^3) قرار دارند.

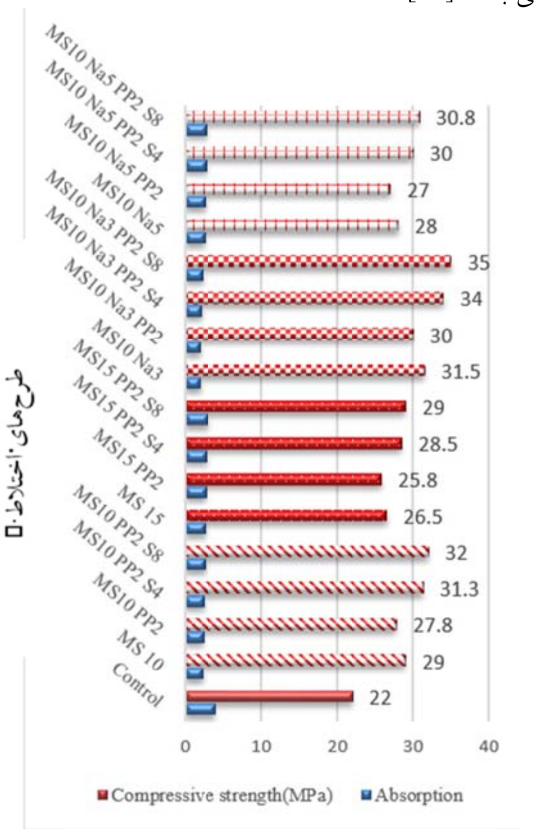
شکل (۳) نمودار تغییرات چگالی بتن را مطابق

استاندارد ASTM C567 نشان می‌دهد.

مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر مطابق استاندارد ASTM C39 نشان می‌دهد که می‌توان به مقاومت سازه‌ای حداقل دست‌یافت. از شکل (٤) و جدول (۷) مشاهده می‌شود که با جایگزینی میکروسیلیس و نانوسیلیس مقاومت فشاری افزایش می‌یابد که بیش‌ترین افزایش آن برای ۱۰٪ MS و ۳٪ Na به ترتیب در حدود ۳۲٪ و ٤۳٪ می‌باشد. لذا درصد بهینه MS و Na به ترتیب الیافPP موجب کاهش و ترکیب الیاف های S و pp موجب افزایش مقاومت فشاری گردیده است که در مطالعات دیگر نیز گزارش‌شده است [22]. افزایش مقاومت فشاری تحت تأثیر الیاف S باعث به تأخیر افتادن رشد ریزترک‌ها وافزایش مقاومت و کرنش‌تحت بار حداکثر خواهد شد. دلیل کاهش مقاومت فشاری ۱۰ و ۳ درصد می‌باشد. تأثیر MS و Na برافزایش مقاومت فشاری در تحقیقات دیگران نیز آمده است [17-21].

تحت تاثیر الیاف PP بواسطه محبوس شدن هوا می باشد [۲۳].



شکل ٤ نمودار مقاومت فشاری و جذب آب طرح‌های اختلاط

جدول ۷ مقادیر مقاومت فشاری و جذب آب طرح‌های اختلاط

کد طرح	مقاومت فشاری (MPa)		جذب آب		کد طرح	مقاومت فشاری(MPa)		جذب آب	
	۷روزه	۲۸ روزه	اولیه	نهایی		۷روزه	۲۸ روزه	اولیه	نهایی
Control	۱۹	۲۲	۲/۲۱	۳/۸۹	MS10 Na3	۲٦/۸	۳۱/٥	۱/٤۲	۱/۹٥
MS 10	۲٤	۲۹	۱/٥۸	۲/۳۱	MS10 Na3 PP2	۲٥/٥	۳۰	۱/٤٤	۲
MS10 PP2	۲۳	۲۷/۸	۱/٦۲	۲/۳۷	MS10 Na3 PP2 S4	۲۸/۸	۳٤	۱/٥۸	۲/۱۱
MS10 PP2 S4	۲٦	۳۱/۳	۱/۷۷	۲/٥۱	MS10 Na3 PP2 S8	۲۹	۳٥	۱/۷٦	۲/۳
MS10 PP2 S8	۲٥/۸	۳۲	۱/۸۹	۲/٦٥	MS10 Na5	۲٤/٥	۲۸	۱/۷٤	۲/٥۳
MS 15	۲۲/٥	۲٦/٥	۱/۷۹	۲/٦٦	MS10 Na5 PP2	۲۳/۲	۲۷	۱/۷٥	۲/٦۲
MS15 PP2	۲۱/۲	۲٥/۸	۱/۸٤	۲/۷٤	MS10 Na5 PP2 S4	۲٦	۳۰	۱/۹۱	۲/۷۸
MS15 PP2 S4	۲۳/۸	۲۸/٥	۱/۹۷	۲/۸۲	MS10 Na5 PP2 S8	۲٦/٥	۳۰/۸	۲/۰۲	۲/۸۳
MS15 PP2 S8	۲٥	۲۹	۲/۰۹	۲/۹۸					

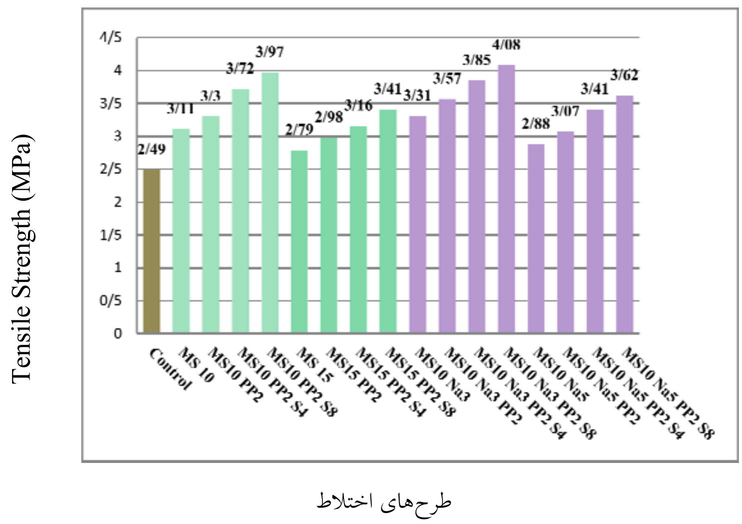
جذب آب

جذب آب به‌عنوان معیاری برای کیفیت تراکم بتن مورد قضاوت قرار می گیرد. برای اندازه‌گیری جذب آب نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر مطابق استاندارد ASTM C948 استفاده شد. به‌طورکلی در بتن با سنگدانه‌های سبک میزان جذب آب توسط محققین بالای ۱۰٪ گزارش‌شده است [24]. کیفیت بتن توسط CEB [25] به سه رده ضعیف، متوسط و خوب به ترتیب بر مبنای جذب آب ۵ درصد و بالاتر، بین ۳ تا ۵ درصد و کمتر از ۳ درصد تقسیم‌بندی شده است. بااین‌وجود، بر اساس رده‌بندیCEB بیشتر نمونه‌ها در محدوده خوب طبقه‌بندی می‌شوند. متوسط اندازه حفرات در بتن حاوی سبکدانه بالاتر از بتن فاقد سبکدانه است و مقادیر مناسب جذب آب را می‌توان با استفاده از MS و Na تغییر داد. شکل (٤) نمودار و جدول (٧) مقادیر جذب آب طرح‌های ساخته‌شده را نشان می‌دهد. نتایج جذب آب نشان می دهد که تمامی بتن‌های حاوی MS و Na درمحدوده خوب قرار دارند. همچنین وجود الیاف باعث افزایش جذب آب می‌شود.

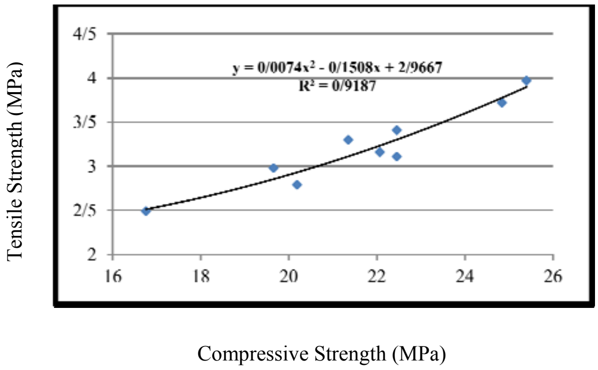
مقاومت کششی به روش دونیم شدن استوانه

این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C496 انجام شد. نمونه‌ها در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل (٥) مقادیر مقاومت کششی را نشان می‌دهد که حضور الیاف پلی‌پروپیلن باعث افزایش مقاومت کششی بتن در حدود ۷٪ گردید. ترکیب الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن سبب افزایش مقاومت کششی و بیش‌ترین مقدار افزایش آن در حدود ۲۷٪ می‌باشد و این افزایش مقاومت در کار محققین دیگر ازجمله Kayali و همکاران [26] دیده شده است. علت افزایش مقاومت ناشی از الیاف فولادی می‌تواند به‌واسطه افزایش تحمل کرنش کششی از طریق انتقال تنش‌ها از ماتریس به الیاف باشد. بیشترین افزایش برای جایگزینی ۱۰٪ میکروسیلیس به صورت مجزا ۲۵٪ و ترکیبی با ۳٪ نانوسیلیس بجای سیمان مقاومت کششی ۳۳٪ افزایش می‌یابد. تأثیر مثبت میکروسیلیس و نانوسیلیس در افزایش مقاومت کششی در مطالعات دیگران نیز اشاره شده است [17-27-31].

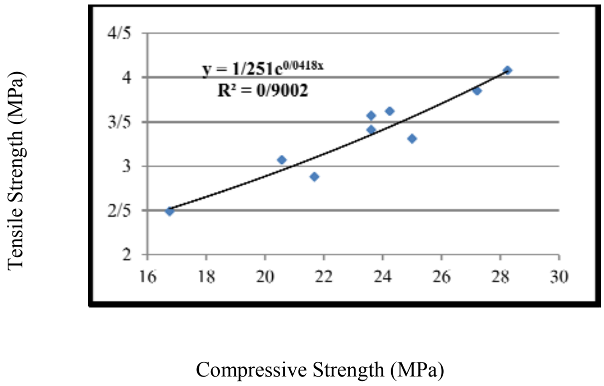
با توجه به شکل (٦) و (٧) از رابطهٔ بین مقاومت‌های کششی و فشاری انتظار می‌رود که این دو نوع مقاومت به‌طور نزدیکی با یکدیگر مرتبط باشند.



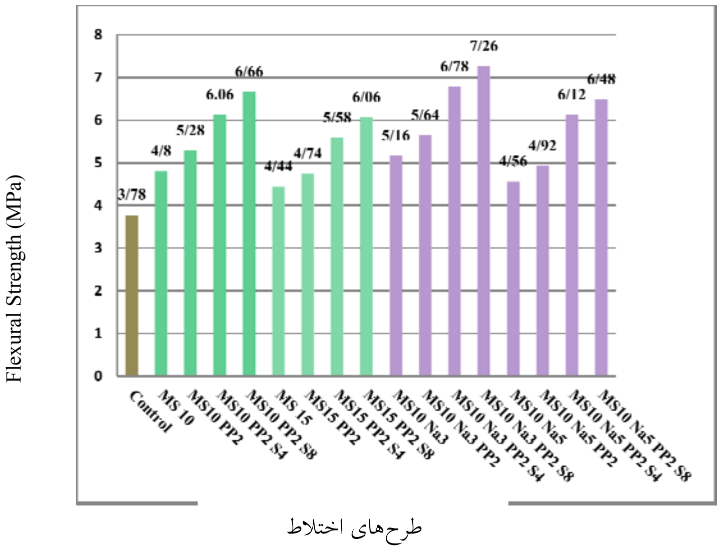
شکل ٥ نمودار مقاومت کششی طرح‌های اختلاط



شکل ٦ نمودار مقاومت فشاری برحسب مقاومت کششی بتن حاوی میکروسیلیس



شکل ۷ نمودار مقاومت فشاری برحسب مقاومت کششی بتن حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس



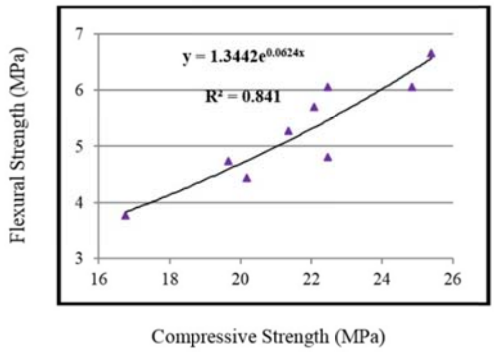
شکل ۸ نمودار مقاومت خمشی طرح‌های اختلاط

مقاومت خمشی

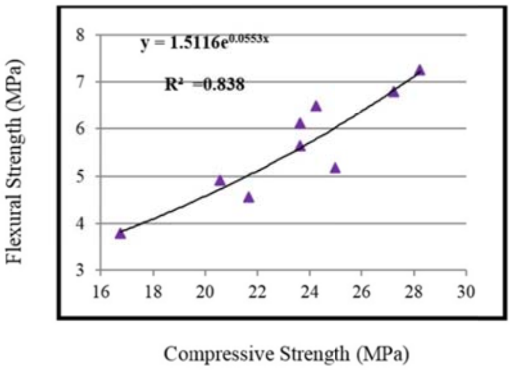
مقادیر مقاومت خمشی نمونه ها بـه روش سـه‌نقطـه‌ای برای تعیـین مـدول گسـیختگی بـتن مطـابق اسـتاندارد ASTM C293 در شکل (۸) ارائه شده است. افـزایش مقاومت خمشی با حضور الیـاف و MS ۱۰٪ و ۱۵٪ بـه ترتیب افزایشـی در حـدود ۱۰٪ و ٦/۷٪ مشـاهده شـد. همچنین بیش‌ترین افزایش مقاومت خمشـی بـا ترکیـب الیاف های S و PP در حـدود ۳۸/۷۵٪ و بـا جـایگزینی میکروسیلیس به صورت تنها و ترکیبـی بـا نانوسـیلیس به‌جای سیمان به ترتیب در حدود ۲۷٪ و ۳۷٪ می‌باشـد که ایـن تـأثیر ترکیبـی در مطالعـات دیگـران نیـز آمـده است[17,28,32,33].

با توجه به شکل‌های (۹) و (۱۰) می‌توان مشـاهده کرد که علت عدم نزدیک شدن ضریب همبسـتگی R^2 را می‌توان به الیاف pp نسبت داد و لذا وجود الیاف باعث کاهش اندک ضریب همبستگی نسبت به کشش گردید.

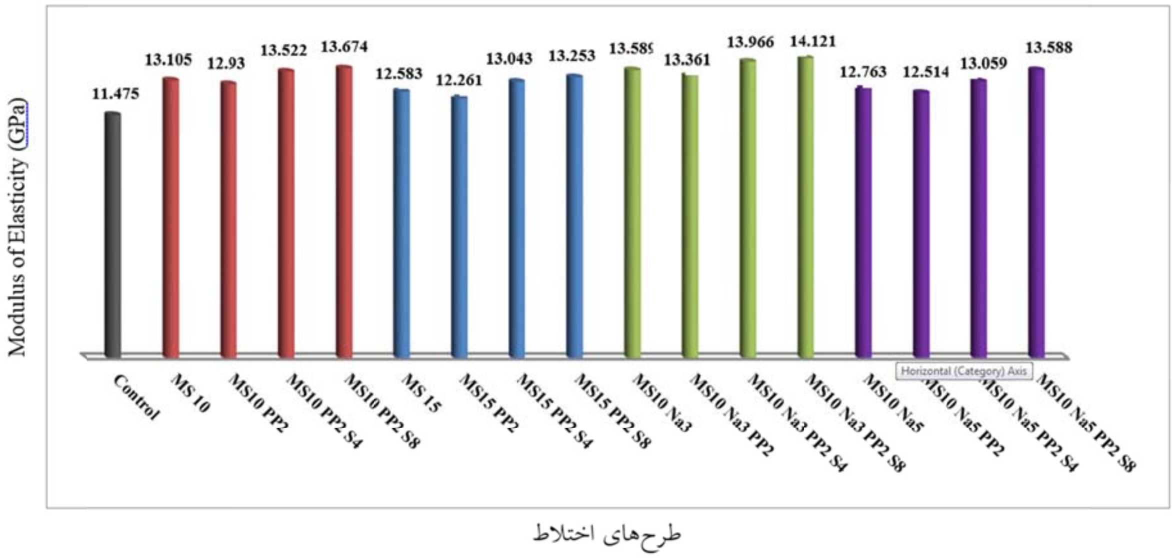
با توجه به شکل‌های (۹) و (۱۰) می‌توان مشـاهده کرد. علت عدم نزدیک شـدن ضـریب همبسـتگی R^2 را می‌توان به الیاف PP نسبت داد و لذا وجود الیاف باعث کاهش اندک ضریب همبستگی نسبت به کشش گردید.



شکل ۹ نمودار مقاومت فشاری برحسب مقاومت خمشی بتن حاوی میکروسیلیس



شکل ۱۰ نمودار مقاومت فشاری برحسب مقاومت خمشی بتن حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس

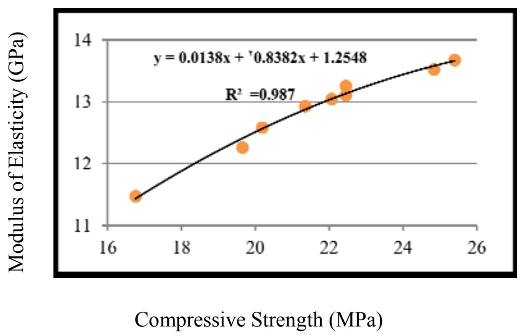


شکل ۱۱ نمودار مدول الاستیسیته طرح‌های اختلاط

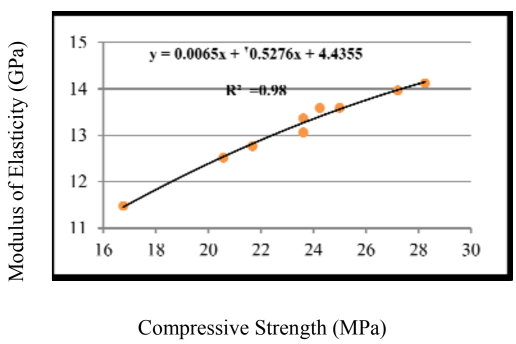
مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته در شکل (۱۱) بر روی نمونه‌های استوانه‌ای ۳۰×۱۵ سانتی‌متر مطابق استاندارد ASTM C469 نشان داده شده است. مطابق شکل، مدول الاستیسیته با افزایش مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.

از نمودار مشاهده می‌شود که MS تکی به همراه Na به ترتیب به میزان ۱٤/۲٪ و ۱۸/٤٪ باعث افزایش مدول الاستیسیته می‌شود. همچنین تأثیر الیاف بر مدول الاستیسیته بسیار کم بوده و در مطالعات دیگران نیز آمده است [17,30]. شکل (۱۲) و (۱۳) نمودار مقاومت فشاری استوانه‌ای معادل برحسب مدول الاستیسیته می‌باشد. از شکل‌ها پیداست ضریب همبستگی مقاومت فشاری و کششی بسیار خوب می‌باشد چراکه با افزایش مقاومت فشاری مدول الاستیسیته هم افزایش‌یافته است.



شکل ۱۲ نمودار مقاومت فشاری برحسب مدول الاستیسیته بتن حاوی میکروسیلیس



شکل ۱۳ نمودار مقاومت فشاری برحسب مدول الاستیسیته بتن حاوی میکروسیلیس و نانوسیلیس

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آزمایشگاهی ، تأثیر درصدهای مختلف MS (۱۰٪، ۱۵٪) و Na (۳٪ و ۵٪) به‌صورت تکی و ترکیبی در بتن سبک سازه‌ای با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ همراه با دو درصد مختلف بتن الیافی PP (۰/۲٪) به‌صورت تکی و ترکیب با الیاف S (۰/٤٪ و ۰/۸٪) در زیر خلاصه‌شده است:

۱. حضور الیاف S باعث افزایش چگالی بتن می‌گردد.

۲. با جایگزینی ۱۰٪ MS به‌صورت جداگانه و ترکیبی با ۳٪ Na به‌جای سیمان مقاومت فشاری افزایش می‌یابد که بیش‌ترین افزایش آن به ترتیب در حدود ۳۲٪ و ٤۳٪ می‌باشد.

۳. الیاف PP موجب کاهش مقاومت فشاری گردیده و ترکیب الیاف S و PP موجب افزایش مقاومت شده است.

٤. بیش‌ترین افزایش مقاومت کششی با جایگزینی MS تنها و ترکیبی با ۳٪ Na به‌جای سیمان به ترتیب در حدود ۲۵٪ و ۳۳٪ می‌باشد.

۵. با افزایش MS از ۱۰٪ به ۱۵٪ و Na از ۳٪ به ۵٪ مقاومت کششی کاهش‌یافته است.

٦. افزایش مقاومت کششی بتن با حضور الیاف PP از ۰ به ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب در حدود ۷٪ و ترکیب الیاف های S و PP سبب بیش‌ترین مقدار افزایش آن در حدود ۲۷٪ گردید.

۷. با جایگزینی ۱۰٪ MS به‌صورت تکی و ترکیبی با ۳٪ Na به‌جای سیمان مقاومت خمشی افزایش می‌یابد که بیش‌ترین افزایش به ترتیب در حدود ۲۷٪ و ۳۷٪ می‌باشد.

۸. حضور الیاف باعث افزایش مقاومت خمشی گردید. با افزایش الیاف PP از ۰ به ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب برای MS ۱۰٪ و ۱۵٪ به ترتیب افزایشی در حدود ۱۰٪ و ٦/۷٪ مشاهده شد. همچنین، ترکیب الیاف های S و PP با ۱۰٪ MS به حداکثر مقدار مقاومت خمشی در حدود ۳۸/۷۵٪ افزایش‌یافته است.

۹. MS و Na باعث افزایش مدول الاستیسیته می‌شود که

بیش‌ترین افـزایش بـه ۱۴/۲٪ بـرای ۱۰٪ MS و در ترکیب با ۳٪ Na به حدود ۱۸/۵٪ می‌رسد.

۱۰. همچنین تأثیر الیاف بر مدول الاستیسیته بسـیار کـم بوده است.

۱۱. حضور الیاف باعث افزایش مقدار جذب آب گردید

با این وجود، بر اساس رده‌بندی CEB بیشتر نمونه‌ها در محدوده خوب طبقـه‌بنـدی مـی‌شـوند. همچنـین کاهش جذب آب این بتن ها توسط MS کمتر از Na می‌باشد.

مراجع

۱. برگی، خسرو، " اصول مهندسی زلزله"، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۰).

2. Babu, D. S., Babu, K. G., Tiong-Huan, W., "Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete", Cement & Concrete Composites, 28, 520-527, (2006).

3. Demirboga, R., Orung, I., Gul, R.,"Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes", Cement and Concrete Research 31:1627–32, (2001).

4. Al-Khaiat, H., Haque, M. N., "Effect of initial curing on early strength and physical properties of lightweight concrete", Cement and Concrete Research 28 (6) 859– 866, (1998).

5. Demirdag, S., Gunduz, L., "Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units", Construction and Building Materials 22, 135–142, (2008).

6. BS EN 206:2013, "Concrete - Specification, performance, production and conformity (English version). Brussels", European Commitiee for Standardization, (2013).

7. Dotto, J. M. R., et al., "Influence of silica fume addition on concretes physical properties and on corrosion ehavior of reinforcement bars", cement and concrete composites 26(1): pp 31-39, (2004).

8. Shannag, M. J., "High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume", Cement & Concrete Composites 22 399-406, (2000).

۹. مهرآوران، محسن.، سهرابی، محمدرضا.، "بهبود خواص بتن حاوی پوزولان تفتان بـا اسـتفاده از نانوسـیلیس"، پنجمـین کنگـره ملـی مهندسـی عمران، (۱۳۸۹).

10. Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K., Rongshen, C., "Influence of nano-SiO2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume", Construction and Building Materials 21, 539–545, (2007).

11. Li, H., Zhang, M-H., Ou, J-P., "Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement", Wear 260, 1262–1266, (2006).

12. Ji, T., Mirzayee, A., Zangeneh-Madar, Z., Zangeneh-Madar, E., "Preliminary study on water infiltration of concrete containing nano-SiO_2 and silicone", 8th International Congress, on Civil Engineering, May 11-13, Shiraz University, Shiraz, Iran, (2009).

13. Gesogˇlu, M., Guneyisi, E., Alzeebaree, R., Mermerdas, K.," Effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of the concretes produced with cold bonded fly ash aggregates", Construction and Building Materials 40, 982–990, (2013).

14. Kılıc, A., Atis, C. D., Yas¸ E., Özcan, F.," High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures", Cement and Concrete Research 33, 1595–1599, (2003).
15. Yazıcı, S., Inan, G., Tabak, V., "Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC", Construction and Building Materials PP1250–1253, (2007).
۱۶. ماهوتیان، مهرداد. بهرادی یکتا، سجاد، " تأثیر الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن بر مشخصات مکانیکی بتن سبکدانه حاوی لیکا و پومیس" ، اولین کنفرانس ملی بتن سبک، دانشگاه تهران، (۱۳۹۰).
17. Valipour, M., Pargar, F., Shekarchi, M., Khani, S., "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study", Construction and Building Materials 41, 879–888, (2013).
18. Mazloom, M., Ramezanianpour, A. A., Brooks, J. J., "Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete", Cement& Concrete Composites 26, 347–357, (2004).
19. Ahmadi, B., & Shekarchi, M., "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material", Cement & Concrete Composites 32, 134–141, (2010).
20. Jo, B. W., Kim, C. H., Tae, G. H., Park, J. B., "Characteristics of cement mortar with nano-SiO_2 particles", Construction and Building Materials 21,1351–1355, (2007).
21. Behfarnia, K., Salemi, N., "The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal Concrete", Construction and Building Materials 48, 580–584, (2013).
22. Ali Libre, N., Shekarchi, M., Mahoutian, M., Soroushian, P., "Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice", Construction and Building Materials 25, 2458–2464, (2011).
۲۳. حسینعلی بیگی، مرتضی، پور نیک‌بین، محمد، باباجانی، میلاد،" بررسی تأثیر الیاف‌های مختلف بر روی خصوصیات مکانیکی بتن خود متراکم سبک" ، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، دانشگاه تهران، (۱۳۸۸).
24. Rossignolo, J. A., Agnesini, M. V. C., "Durabiliti of Polymer-modified lightweight aggregate concrete", Cement & Concrete Composites 26, 375-380, (2004).
25. CEB-FIP," Diagnosis and assessment of concrete structures – state of the art report", CEB Bull 192, 83–5, (1989).
26. Kayali, O., Haque, M. N., Zhu, B., "Drying shrinkage of fibre-reinforced lightweight aggregate concrete containing fly ash", Cement and Concrete Research 29, 1835–1840, (1999).
27. Nili, M., Afroughsabet, V., "The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete", Construction and Building Materials 24, 927–933, (2010).
28. Cakır, Ö., Sofyanl, Ö.Ö., "Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete", Housing and Building National Research Center, (2014).
29. Shekari, A. H., Razzaghi, M. S., "Influence of nano particles on durability and mechanical properties of high performance concrete", Procedia Engineering 14, 3036–3041, (2011).
30. Amin, M., Abu el-hassan, K.,"Effect of using different types of nano materials on mechanical properties of

high strength concrete", Construction and Building Materials 80,116–124, (2015).

31. Mukharjee, B. B., V. Barai, S., "Influence of Nano-Silica on the properties of recycled aggregate concrete", Construction and Building Materials 55, 29–37, (2014).
32. Bhanjaa, S., Sengupta, B., "Influence of silica fume on the tensile strength of concrete", Cement and Concrete Research 35, 743–747, (2005).
33. Nazari, A., Riahi, Sh.,"The effects of SiO_2 nano particles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete", Composites: Part B 42, 570–578, (2011).